

Statistische Analyse klimatologischer Zeitreihen

Schableger, Karl

Veröffentlichungsversion / Published Version

Zeitschriftenartikel / journal article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

GESIS - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schableger, K. (1996). Statistische Analyse klimatologischer Zeitreihen. *Historical Social Research*, 21(3), 4-33. <https://doi.org/10.12759/hsr.21.1996.3.4-33>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more Information see:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Statistische Analyse klimatologischer Zeitreihen

Karl Schableger*

Abstract: In the scope of discussions about global warming, various statistical models describing longterm temperature time series are proposed. The time series of the daily air temperature of Vienna between 1.1.1874 and 31.12.1993 has been the basis for this analysis. In general, the results obtained from this analysis can be used for examining the climatic change of the central European area. ARIMA-Modelling, created by Box and Jenkins, was the main type of model utilized for the analysis. In addition to difference filter dynamic regression analysis and transfer function models were used. Using nonstochastic, exogenous input variables (called interventions) an expected temperature equilibrium was estimated. Moreover, ordinary trend estimation was done to get an impression of the development and power of temperature increases. Finally, the results of the analysis of extreme temperature values were suitable to the theory of global warming. Unfortunately, checking the variation of the temperature series with various measuring techniques was not an unambiguous success. Therefore, the frequently mentioned hypothesis of growing variability could not be confirmed.

Klimaschwankungen im Verlauf der Geschichte

Klima und Wetter werden durch eine Vielzahl von Merkmalen beschrieben; Regenmenge, Luftdruck, Ausmaß der Bewölkung und nicht zuletzt die Lufttemperatur stellen die wichtigsten Größen dar. Wir betrachten in dieser Arbeit nur die bodennahe Lufttemperatur, zumal die Temperatur die bestimmende Größe des Klimas im Verlauf der Jahrzehnte darstellt. Andere Klimaelemente,

* Address all communications to Karl Schableger, Institut für Angewandte Statistik, Universität Linz, A-4040 Linz/Auhof; e-mail: Karl.Schableger@jku.uni-linz.ac.at
Fax: + +43/732/2468-9846.

Überarbeitete Fassung eines Vortrages, den der Verfasser anlässlich des ZHSF-Workshops: 20 Jahre QUANTUM, vom 4.-7. Oktober 1995 in Köln, im Rahmen der Sektion 'Historische Umweltforschung', eingereicht hat.

wie z.B. die Niederschlagsmenge, finden nur am Rande Erwähnung. BÖHM [1993] macht aber aufmerksam: »Eines der am besten erforschten und in seinen biologischen Auswirkungen auch wichtigen Klimaelemente ist die Lufttemperatur. Sie wird bei oberflächlicher Betrachtungsweise, etwa in der derzeit stattfindenden öffentlichen Klimaschwankungsdiskussion, oft mit dem Klima selbst gleichgesetzt. Daß das keineswegs zulässig ist, sondern daß das Klima natürlich aus der Gesamtheit der Klimaelemente wie Strahlung, Wind, Feuchte, Niederschlag etc. mit ihrem oft komplizierten vernetzten Zusammenwirken besteht, darauf sei hier mit aller Deutlichkeit hingewiesen« (ebd. S. 15). Neben der Tatsache, daß die Lufttemperatur entscheidendes Klimaelement ist, bringt die Betrachtung der Temperatur als Klimaindikator weitere Vorteile. So sind zum Beispiel Zeitreihen der (bodennahen) Lufttemperatur am besten dokumentiert. In Österreich reichen direkte Messungen auf zumindest dreimal täglicher Basis zurück in das Jahr 1775.

Vom »Optimum des Holozäns« bis zum »mittelalterlichen Optimum«

Während unregelmäßige zufällige, aber auch saisonale Schwankungen Wetter und Witterung als instabile Größen erscheinen lassen, hatte man vom Klima hingegen sehr oft die Vorstellung, es sei konstant. Die Temperaturgeschichte der letzten 8000 Jahre ist Beweis, daß das Klima mehr oder weniger starken Schwankungen unterliegt.

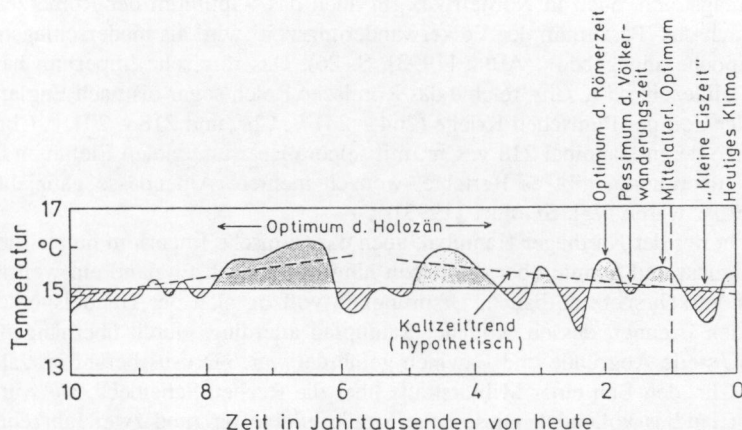


Abb. 1: Mittlerer Temperaturverlauf auf der Nordhalbkugel der Erde (Schönwiese [1994], S. 66).

In Abb. 1 erkennt man für die Zeitspanne 8000 bis 4000 Jahre vor heute die höchsten Temperaturen des gesamten Holozäns, deshalb »Holozänes Optimum«

oder auch »Atlantikum« genannt. In Österreich lagen die Temperaturen um etwa 2° Celsius höher als heute. Die Baumgrenze befand sich 200-300 Meter höher und die Gletscher hatten eine geringere Ausdehnung als jetzt. Typischerweise wurde der Mensch in der Zeit des Atlantikums sesshaft. Er betrieb erstmals Ackerbau und Viehzucht, die ersten Hochkulturen in Mesopotamien und Ägypten entstanden. Ist das ein Zufall? Seitdem allerdings das »Holozäne Optimum« vor rund 4000 Jahren überschritten wurde, bewegen wir uns langsam aber sicher auf die nächste Eiszeit zu. Dieser durch eine gestrichelte Linie in Abb.1 dargestellte Abwärtstrend ist allerdings so langsam, daß er 0,1° Celsius pro tausend Jahre nicht überschreitet (vgl. SCHÖNWIESE [1994], S. 66f).

Auf das »Holozäne Optimum« folgte um ca. 2500 vor heute ein Rückgang des Temperaturniveaus auf 1-2 Grad unter dem heutigen. Dieser Zeitabschnitt wird im Zusammenhang mit Österreich »Hallstatt Minimum« genannt (vgl. BÖHM [1993], S. 20). Das rauhere Klima und die geänderten Vegetationsverhältnisse veranlaßten ganze Völkerstämme dazu, ihre Siedlungsgebiete zu verlassen und nach Süden zu wandern. In diese Zeit fällt die große indogermanische Völkerwanderung 1200 - 1000 v. Chr., die in mehreren Einwanderungswellen zu einer (Neu-) Besiedelung Griechenlands führte. Um 1200 - 700 v. Chr. geriet dabei auch das ägyptische Volk durch die von Norden anstürmenden Seevölker in Bedrängnis.

Um Christi Geburt gab es eine relativ warme und wohl auch niederschlagsreiche Klimaepoche, das sog. »Optimum der Römerzeit«. »Als sehr niederschlagsreich, auch in Nordafrika, gilt auch das 'Optimum der Römerzeit', und auch das 'Pessimum der Völkerwanderungszeit' wird als niederschlagsreiche Epoche angegeben« (AUER [1993], S. 26). Das römische Imperium hatte seine Blütezeit; 43 n. Chr. reichte das Römische Reich sogar bis nach England. Aus der Zeit der Punischen Kriege (264 - 241 v. Chr. und 218 - 201 v. Chr.), im Zuge deren Hannibal 218 v. Chr. mit seinem Heer und vielen Elefanten die Alpen überquerte, gibt es Berichte, wonach mehrere Alpenpässe ganzjährig passierbar waren (vgl. SHBERT [1993]).

Nicht nur der Karthager Hannibal, auch das römische Imperium nutzte diese Klimagunst und konnte über die Alpen hinweg bis nach England ein weiträumiges Verkehrsnetz aufbauen. Ursprünglich vollzog sich der Handelsverkehr über den Brenner, dessen schmaler Saumpfad allerdings durch überhängende Felsen, steile Abgründe und Lawinen gefährdet war. »Drusus befahl im Jahre 15 v. Chr. den Bau einer Militärstraße über die Rechen-Scheideck: sie wurde unter Claudius vollendet Diese neue Straße bildete für rund zwei Jahrzehnte die Hauptader des militärischen und des Handelsverkehrs Roms über die Alpen. Septimus Severus veranlaßte den Ausbau der Brennerstraße ... Der Brennerpaß wurde in der späten Kaiserzeit zur wichtigsten Heerstraße ... Insgesamt sollen die Römer mindestens 17 Alpenstraßen benutzt und mindestens neun ausgebaut haben ... So war der große Sankt Bernhard nur für Reiter und Tragtiere passierbar, während der Brenner, der Julier und die drei Tauernpässe einen lebhaften Wagenverkehr zuließen« (REHBEIN [1984], S. 99).

Dem »Optimum der Römerzeit« folgte eine Abkühlung, die für die Temperatur der Nordhalbkugel zwar kaum mehr als 1° Celsius ausmachte (vgl. Abb. 1), in ihren Auswirkungen aber katastrophale Folgen hatte. Der Klimatologe LAMB [1972, 1977] machte darauf aufmerksam, daß eine Abkühlung von nur 0,5° Celsius in Südengland die Vegetationszeit um etwa 14 Tage verringert. Liegt der Rückgang bei 1° Celsius so reicht das bei weitem aus, Hungersnöte größeren Ausmaßes hervorzurufen.

Die germanische Völkerwanderung - 375 bis 568 n. Chr. -, die das römische Imperium auslöschte, fiel genau in diese Zeit der Klimaverschlechterung; deshalb auch die Bezeichnung »Pessimum der Völkerwanderung« (siehe Abb.1). Historiker machen jedoch meist das zentralasiatische Reitervolk der Hunnen für diese Völkerwanderung verantwortlich (vgl. Fischer Weltgeschichte S. 109); »Es ist aber wohl kaum falsch, anzunehmen, daß Klimaschwankungen dabei auch mitgewirkt haben« (SCHÖNWIESE [1994], S. 69).

Auffallend zeigen sich in den eben beschriebenen historischen Ereignissen Parallelen zur Klimageschichte. Während in Warmzeiten Hochkulturen entstanden, kam es in Kaltzeiten zu ausgeprägten Wanderungsbewegungen. Es hat den Anschein, als ob die Klimaschwankungen auf historische Ereignisse wirken, wobei dieser Einfluß des Klimas aber keinesfalls überschätzt werden darf. »Wir wollen nicht verschweigen, daß dies nicht unproblematisch ist, da das Klima immer nur einer von vielen Faktoren ist, die die Existenz und das Zusammenleben der Menschen beeinflussen« (SCHÖNWIESE und DIEKMANN [1987], S. 57).

Nach dem ca. 400jährigen Intermezzo einer Kaltzeit stellte sich zwischen 800 und 1200 n. Chr. das sog. »Mittelalterliche Optimum« ein (vgl. Abb.1), wobei es ähnlich warm war wie zur Römerzeit. Am Beginn dieser Epoche stehen die ausgedehnten Seefahrten der Normannen, die um 1000 n. Chr. Nordamerika erreichten; auf einer heute durch Treib- und Packeis für damalige Verhältnisse unschiffbaren Route. Bereits 900 n. Chr. gelang ihnen die Besiedelung Grönlands, was Jahrzehnte zuvor wegen der Eismassen nicht denkbar gewesen wäre. DANSGARD [1975] stellte fest, daß diese offensichtlich geringen Klimafluktuationen um das Mittelalterliche Optimum tiefgreifende sozioökonomische Folgen hatten. Neben der regen Aktivität der Normannen gestattete das Warmklima ausgedehnte Agrarwirtschaft entlang der südnorwegischen Küste und sogar einen Weinanbau bis in die Breiten Englands (vgl. SCHÖNWIESE und DIEKMANN [1987], S. 59). Im deutschsprachigen Gebiet weist heute mancher mittelalterliche Orts- und Flurname auf Weinanbau hin, wo jetzt keine Reben mehr gedeihen könnten (z.B. Weinberg bei Kefermarkt/OÖ).

Für Österreich läßt sich diese Zeit des Warmklimas - und des damit verbundenen Rückzuges der Gletscher - durch die Bergbauaktivitäten im Rauriser Tal nachweisen. Der auf seinem Höhepunkt stehende Goldbergbau in den Hohen Tauern kannte Stolleneingänge in 3000 m Höhe und bewohnte Knappenhäuser bis 2500 m Höhe (vgl. BÖHM [1993], S. 20).

Waren die Folgen der Klimaschwankungen des Holozäns kaum nachvollziehbar, so ließen doch ab Beginn unserer Zeitrechnung überlieferte Berichte der Römer Schlüsse auf die Auswirkungen der Klimafluktuationen zu. Detaillierte sozioökonomische Folgen konnte man allerdings aus diesen Berichten nicht ableiten. Mit der Klimawende um 1200 bis 1400 n. Chr., wobei es wieder kälter wurde (vgl. Abb.1), trat dahingehend eine Veränderung ein. Die Auswirkungen des Überganges in die »Kleine Eiszeit«, sowie die Folgen der »Kleinen Eiszeit« selbst sind durch eine Vielzahl historischer Berichte belegt. Zusätzlich bekamen nun also die Klimatologen ein weiteres Instrument zur Klimarekonstruktion in die Hand: die Historische Klimatologie.

Die Auswertung, Interpretation und Quantifizierung von meist in qualitativer Form vorliegenden, historischen Berichten gehört zu den Hauptaufgaben dieser Forschungsrichtung. GLASER [1993] bezeichnet LAMB als Begründer der modernen Historischen Klimatologie, wagte er doch erstmals eine »synoptische Interpretation« historischer Texte (ebd. S. 8). Der zeitliche Rahmen der Historischen Klimatologie reicht spätestens mit der Arbeit von PFISTER [1988] zurück bis in das 16. Jahrhundert.

Wie Abb.1 zeigt, brachte die »Kleine Eiszeit« für das Weltklima nur eine Abkühlung von 1° Celsius, mit allerdings gravierenden sozioökonomischen Folgen. Das erst wenige Jahrhunderte zuvor besiedelte Grönland wurde um 1500 von den Normannen wieder verlassen. LAMB [1972/1977] berichtet von einer Häufung kühlerer Sommer in den Jahren 1313 bis 1371. Er führt den Verlust eines Drittels der englischen Bevölkerung zu dieser Zeit primär auf die schlechteren Klimabedingungen zurück und erst sekundär auf die damalige Pestepidemie. Grundlage dieser Vermutung sind vor allem Berichte über Mißernten und Hungersnöte.

Viele historische Begebenheiten werden heute mehr oder weniger überzeugend mit dieser kalten Klimaepoche (1400 - 1900 n. Chr.) in Verbindung gebracht. Die Klimaverschlechterung zog Mißernten und geringere landwirtschaftliche Erträge nach sich, die dann zu Unruhen im Bauernstand führten und in den Jahren 1524/25 mit dem Höhepunkt der Bauernkriege ihr Maximum erreichten.

Manche bringen den Dreißigjährigen Krieg (1618 - 1648) und die Wiederentdeckung Amerikas 1492 durch Kolumbus in Zusammenhang mit dieser »Kleinen Eiszeit«. Mit den damaligen Entdeckungsreisen und den nachfolgenden Auswanderungswellen nach Amerika setzte eine Art neuzeitliche Völkerwanderung ein; es hat den Anschein, als ob Klimaverschlechterungen im Sinn eines großräumigen Absinkens der Temperatur - auch nur um 1° Celsius - auslösendes Moment für die Notwendigkeit regionaler Veränderungen der Menschen sind. Wie bereits erwähnt soll der Zusammenhang zwischen Klimaänderungen und historischen Ereignissen nicht überbewertet werden, doch zeigen sich auch in der jüngeren Vergangenheit auffällige Parallelen zwischen

diesen. LEHMANN [1986] weiß sogar davon zu berichten, daß sich im ausgehenden 16. Jahrhundert die Anklagen in Hexenprozessen wegen Schadenszaubers (Wetterzaubers) häuften. Er fügt jedoch an, daß »die Zunahme der Hexenverfolgung nicht allein von der Klimaverschlechterung abgeleitet werden kann« (ebd. S. 44). Daß es sich bei der »Kleinen Eiszeit« (P) um keine durchgehend kalte Epoche gehandelt hat, läßt Abb. 2 erkennen.

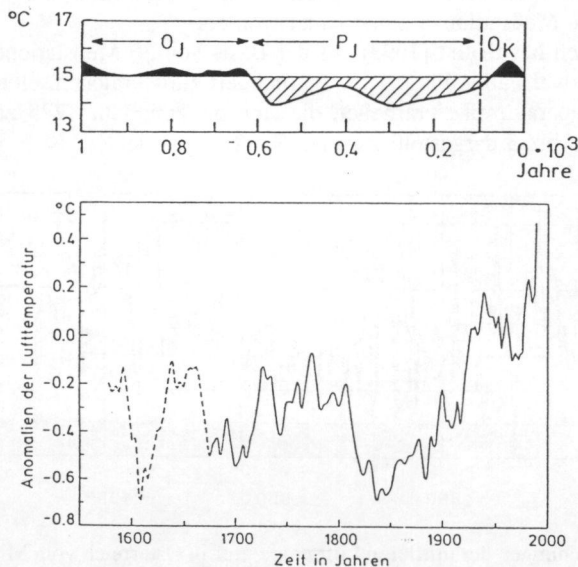


Abb. 2: Mittlerer Temperaturverlauf (Anomalien) auf der Nordhalbkugel a) der letzten 1000 Jahre; b) der letzten 500 Jahre (rekonstruiert aus Baumringanalysen und direkten Messungen) (Schönwiese [1994], S. 74; Schönwiese und Diekmann [1987], S. 44).

Deutlich sind die mehrere Jahrzehnte andauernden Kaltphasen um 1600 und 1850 zu erkennen, während zwischenzeitlich milderes Klima vorherrschte. Nicht nur in historischen Berichten findet das Klima Erwähnung, auch auf Gemälden, in Volksliedern und Balladen, die zu dieser Zeit entstanden, wurden die Auswirkungen der Kaltepoche dargestellt. So zeigen etwa die Winterbilder von Breughel zugefrorene Grachten in Holland und Volkslieder besingen strenge Winter und die Freude, wenn der Frühling ins Land zieht.

Die Erfindung des Flüssigkeitsthermometers 1611 durch G. GALILEI war die Geburtsstunde direkter Temperaturmessungen. Erstmals in der Geschichte war es nun möglich, die Temperatur objektiv zu erfassen. Es dauerte aber einige Jahrzehnte bis kontinuierlich, über längere Zeit hinweg, Temperaturmessungen vorgenommen wurden. Neben zeitlichen Temperaturveränderungen treten natürlich auch räumliche Veränderungen auf, wobei wieder einige Jahrzehnte vergingen, bis fixe Meßstationen eingerichtet wurden.

Für Österreich hat BÖHM [1993] auf der Basis von 50 Meßstationen, deren Meßreihen in zwei Fällen bis ins 18. Jahrhundert zurückreichen, eine mittlere Österreich-Temperaturreihe erarbeitet, die sich bis zum Jahr 1775 zurück erstreckt und in Abb. 3 dargestellt ist (ebd. S. 22).

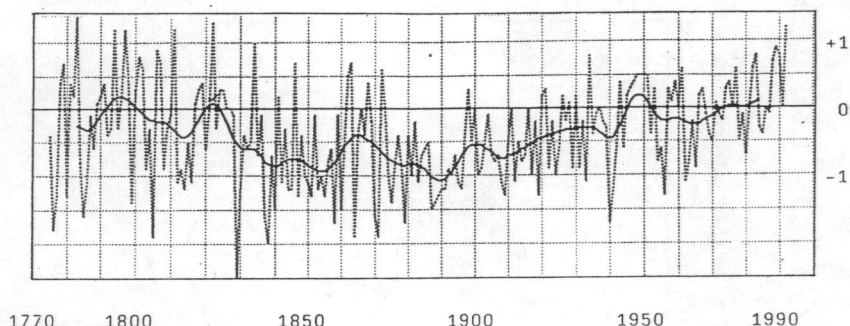


Abb. 3: Abweichungen der mittleren Lufttemperatur in Österreich vom Mittel 1961-1990 (Böhm [1993], S. 22).

BÖHM [1993] charakterisiert den Temperaturverlauf der letzten 200 Jahre wie folgt: »Man erkennt eine warme Periode vom Beginn der Meßreihe bis etwa 1825, die von einer kalten Phase (dem letzten Höhepunkt der kleinen Eiszeit) mit den Extrempunkten um 1850 und 1890 gefolgt wird. In der Folge steigen die Temperaturen bis etwa 1950, was in den Alpen zu einem markanten Gletscherrückgang geführt hat. Die kühlere Phase der 50er und 60er Jahre (Gletschervorstöße mit dem Maximalstand um 1980) ging in einen neuerlichen Temperaturanstieg über, der mit der Dekade 1980-90 ein ähnlich hohes Temperaturniveau erreichte wie um 1800 und der derzeit noch anhält« (ebd. S. 22).

Der »Ökonomische Kalender für das Jahr 1792« weiß über die Hauptstadt Grätz (das heutige Graz) und ihre Gegenden zu berichten: »Gegen Westen und Norden wird die Aussicht durch eine Reihe luftiger Weinhügel gehemmt, die durch Gehölze, Aecker und Garten unterbrochen, und mit einer Menge bürgerlicher Landhäuser besetzt sind.« Bereits im 18. Jahrhundert wurde also um

Graz Weinbau betrieben, in einer relativ warmen Phase der »Kleinen Eiszeit«; der Weinbau hat die Kaltphasen um 1850 und 1890 überstanden - heute ist diese Gegend nach wie vor für ihre guten Weine - vor allem für den Schilcher - bekannt.

Eine ähnliche Beschreibung, wie von BÖHM für die Österreichreihe, kann für die Temperaturreihe von Abb.2 vorgenommen werden, wo sich mit Beginn unseres Jahrhunderts die Globaltemperatur der Nordhalbkugel auf das sog. »Moderne Optimum« (OK) zubewegt, das um 1950 ihr Maximum erreicht. Vorher zeigten sich jedoch noch einmal die verheerenden Auswirkungen einer Kaltphase, die in Irland in zwei aufeinanderfolgenden Jahren (1845/1846) Mißernten verursachten und mehr als 1 Million Menschen das Leben kostete; rund 1,5 Millionen Iren verließen ihr Land und waren damit Wegbereiter einer der letzten großen Auswanderungswellen, die bis zum Ende des Jahrhunderts anhalten sollten und letztlich 5,5 Millionen Menschen aus Irland vertrieben. Der kurzfristigen Abkühlung nach 1950 wirkte ein neuerlicher Temperaturanstieg entgegen. Der Anstieg um 1850, im besonderen jedoch der letzte Temperaturanstieg zu Beginn der 60er Jahre unseres Jahrhunderts, stehen im Verdacht, nicht mehr natürlichen Ursprungs zu sein; ein neuer Klimafaktor betritt die Bühne des Geschehens: der Mensch.

Der Mensch als Klimaelement

War die bisher betrachtete Klimavergangenheit von den Auswirkungen menschlicher Aktivitäten unbeeinflusst geblieben, so tritt mit Beginn unseres Jahrhunderts, vielleicht aber auch schon früher, der Mensch nicht nur als Klimaabhängiger, sondern auch als Klimaelement auf. Änderungen der Erdoberfläche durch Besiedelung, landwirtschaftliche Nutzung, Änderung der Vegetation, Rodung, vor allem aber die Einbringung von klimawirksamen Treibhausgasen in die Atmosphäre durch die Verfeuerung fossiler Brennstoffe, den Individualverkehr und die Industrie stellen die Ursachen anthropogen ausgelöster globaler Klimaänderungen dar. Ohne hier im Detail darüber zu diskutieren, wie sich Änderungen der Erdoberfläche oder der Kohlendioxydkonzentration in der Atmosphäre auf das Klima auswirken, werden von uns diese Einflüsse unter der Bezeichnung »menschliche Aktivitäten« zusammengefaßt. Eine große Zahl an einschlägiger Literatur informiert den interessierten Leser näher über diese Zusammenhänge (siehe etwa PEARCE [1990], SEIFRITZ [1991], LEGETT [1991] oder FIROR [1993]).

Betrachtet man Abb. 3 eingehender, so läßt sich ein langfristiger Trend, beginnend bereits Ende des vorigen Jahrhunderts, erkennen. Natürliche Klimaschwankungen erfolgen, wie die historischen Ausführungen der vorangegangenen Abschnitte gezeigt haben, allmählich. Ein wichtiger Hinweis für einen Zusammenhang zwischen dem Klimaelement Mensch und seinen Auswirkungen auf das Klima ist das Auftreten abrupter drastischer Klimaänderungen.

Im Hinblick darauf stellt der um 1900 beginnende Temperaturanstieg eher eine natürliche Klimaänderung dar. Ein ganz gegensätzliches Bild allerdings zeigt der Anstieg ab 1960. Wie wir später im Detail noch ausführen werden, und sich bereits mit freiem Auge erkennen läßt, ist eine veränderte Anstiegsrate gegenüber dem Trend von 1900 zu beobachten.

Statistische Analysen

Ohne eine Ursachenverknüpfung - auf Grund der Treibhaushypothese - in Form von Klimamodellen vorzunehmen, soll hier der Frage nachgegangen werden, ob die Temperaturdaten als stellvertretendes Klimaelement die erwarteten Trends zeigen. Ein weiteres Augenmerk ist auf die Geschwindigkeit allfälliger Klimaschwankungen zu legen. Zum einen ist zu prüfen, ob es eine Änderung in der Geschwindigkeit einer Erwärmung gibt und zum anderen, wie stark diese geänderten Trendraten ausfallen. Eine mögliche Veränderung in der Variabilität der Temperaturreihe ist ebenfalls Gegenstand unserer Betrachtungen.

Bevor die Frage eines möglichen Klimawandels beantwortet werden kann, sollen die Veränderungen eines Elementes (in unserem Fall der Temperatur) durch folgende Komponenten charakterisiert werden (vgl. PFISTER [1988], S. 115):

- Unterscheidung zwischen periodischen **und quasiperiodischen Fluktuationen**,
- auf- oder absteigenden Trends,
- abrupte Veränderungen des **Niveaus und**
- Veränderungen in der Variabilität (vgl. Abb. 4).

Das Datenmaterial

Die Daten wurden mir freundlicherweise von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt. Die Rohdaten enthalten die täglichen Temperaturwerte der Meßstation Wien Hohe Warte zu den Meßzeitpunkten 7 Uhr, 14 Uhr und 21 Uhr, sowie die täglichen Minimum- und Maximumwerte. Ausgangspunkt für die in den Analysen verwendeten monatlichen oder jährlichen Mittelwerte waren die täglichen Mittelwerte, die wie folgt berechnet wurden:

$$\bar{T} = \frac{T_7 + T_{14} + 2 T_{21}}{4}.$$

Der Beobachtungszeitraum erstreckt sich vom 1. 1. 1874 bis zum 31. 12. 1993, so daß uns also für die vergangenen 120 Jahre die täglichen Meßwerte zur Verfügung stehen. Die Tatsache, daß hier nur die Temperaturreihe von Wien

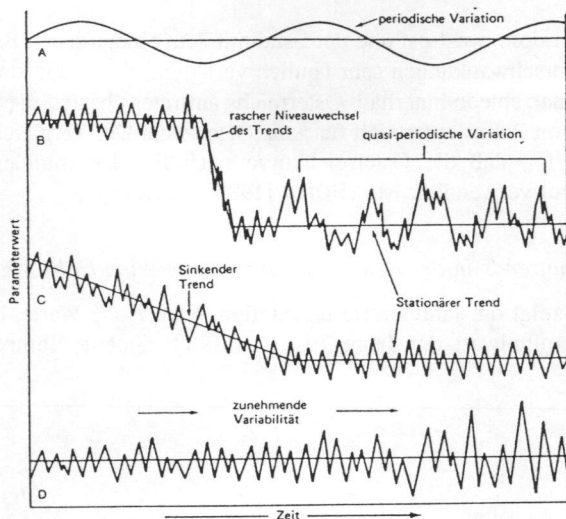


Abb. 4: Typologie von Klimaänderungen (Pfister [1988], S. 115).

(Hohe Warte) betrachtet wird, schränkt die Aussagekraft der Ergebnisse aber keineswegs ein. Das Klimaelement Lufttemperatur weist nämlich eine hohe Korrelation der einzelnen Stationen untereinander auf (vgl. Abb. 5), so daß selbst Stationen unterschiedlichster Lage wie etwa Wien Hohe Warte und Sonnblick bei den Jahresmitteltemperaturen noch mit 0.72 korrelieren.

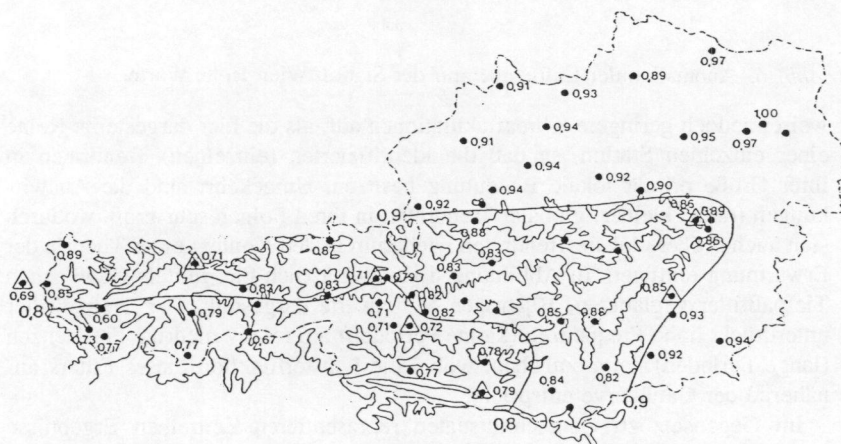


Abb. 5: Korrelationen der Jahresmitteltemperatur ausgewählter Stationen mit Wien Hohe Warte (Böhm [1992], S. 4).

»Infolge der geringen örtlichen Unterschiede von Temperaturrends (getestet wurden klimatisch unterschiedliche Lagen wie Berg-Tal, urban-rural, in-

neralpin-außeralpin, west-ost und nord-süd mit dem einheitlichen Ergebnis, daß die Temperaturschwankungen sehr ähnlich verlaufen, daß keine statistisch signifikanten Unterschiede innerhalb Österreichs auftreten) besitzt die Reihe einen hohen Grad von Repräsentativität für ganz Österreich. Der Vergleich mit Nachbarländern zeigt, daß die Österreichkurve auch für den mitteleuropäischen Raum noch gut verwendbar ist« (BÖHM [1993]; S. 22).

Klimatrends in der Reihe der Jahreswerte Wien Hohe Warte

Abbildung 6 zeigt die Jahreswerte der Station Wien Hohe Warte, bezogen auf den Referenzmittelwert der Jahre 1951 bis 1980. Globale Temperaturreihen

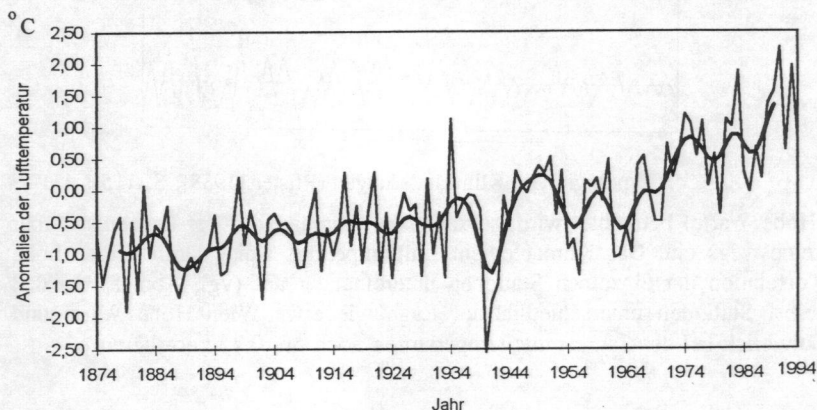


Abb. 6: Anomalien der Lufttemperatur der Station Wien Hohe Warte.

weisen jedoch geringere Klimafluktuationen auf, als die hier dargestellte Reihe einer einzelnen Station, so daß die identifizierten (einzelnen) Trendraten in ihrer Größe primär lokale Bedeutung besitzen. Umgekehrt sind die Auswirkungen (meist kleiner) globaler Trendraten in ihren Folgen sehr groß, wodurch sich auch größere lokale Trendraten wiederum in den Kontext einer Theorie der Erwärmung einfügen. In Abbildung 6 sind zusätzlich die, mittels Gauß'schen Tiefpaßfilter geglätteten, 10jährigen Mittelwerte dargestellt. Der Tiefpaßfilter unterdrückt hohe Frequenzen (kleine Perioden) um relativ niedrige Frequenzen (lange Perioden) hervorzuheben, wobei die Fensterfunktion dieses Filters annähernd der Gaußkurve entspricht.

Im Gegensatz zu Querschnittsdaten repräsentieren Zeitreihen Ergebnisse wiederholter Messungen, die an ein und derselben Untersuchungseinheit vorgenommen wurden, wobei die Ausprägungen nicht durch unterschiedliche Untersuchungseinheiten, sondern durch unterschiedliche Meßzeitpunkte gekennzeichnet sind. Die Daten lassen sich in eindeutiger Weise nach ihrem Zeitindex anordnen. Eine Prüfung der Abhängigkeit eines Fehlers zum Zeitpunkt t von

Fehlern zum Zeitpunkt $t-1$, $t-2$, ... wird somit möglich. Treten derartige Abhängigkeiten auf, so bezeichnet man die Fehler als autokorreliert.

Neben der Problematik mit korrelierten Fehlern scheint auch die Annahme eines Äquilibriumzustandes der zu analysierenden Daten nicht immer angebracht. Die geeignete Erfassung der zeitlichen Komponente ist nur durch die sog. dynamischen Analyseformen möglich, wobei die von Box und JENKINS [1970] popularisierte ARIMA-Modellierung im Vordergrund der Betrachtungen steht. Ein autoregressives Regressionsmodell der Form

$$y_t = \beta x_t' + e_t \quad \text{I.}$$

$$e_t = -\phi_1 e_{t-1} - \phi_2 e_{t-2} - \dots - \phi_m e_{t-m} + \varepsilon_t \quad \text{mit } \varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad \text{II.}$$

berücksichtigt die serielle Abhängigkeit der Störgrößen e_t , indem für die unabhängigen Fehler ε_t ein autoregressives Modell angenommen wird. Die Schätzung der Regressionsparameter β und der Parameter ϕ_i des autoregressiven Fehlermodells erfolgt simultan. Das zu schätzende Modell wurde festgelegt mit:

$$y_t = a + b t + e_t$$

$$e_t = -\phi_2 \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \quad \text{III.}$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = 0.418576$$

Di: $R^2 = 0.4453$ ng brachte folgendes Bild:

$$\sigma_{\varepsilon}^{2\text{tot}} = 0.418576$$

$$R_{\text{tot}}^2 = 0.4453$$

Variable	Koeffizient	Std.Fehler	t-Ratio	Lag
Intercept	-1.26669	0.15824	-8.005	0
t	0.01595	0.00226	7.040	0
ϕ_2	-0.25943	0.09097	-2.852	2

Der ermittelte Koeffizient für t bedeutet eine Erwärmung von 0.1595° C pro Dekade, im betrachteten Zeitraum von 1874 bis 1993. Bezüglich des Fehlermodells erbrachte eine alternative Schätzung der Daten keine weiteren signifikanten ϕ -Koeffizienten. Der Koeffizient zum Lag 1 war ebenfalls nicht signifikant, weshalb er in weiterer Folge nicht in das Modell aufgenommen wurde.

Betrachtet man Abb. 6 eingehender, so läßt sich ab ca. 1968 ein stärkeres Ansteigen der Temperatur beobachten. Dieser Umstand soll nun in einem weiteren Modell berücksichtigt werden:

$$y_t = a + b_1 t + b_2 t a + e_t \quad e_t = -\phi_2 \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \quad \text{IV.}$$

$$\text{mit } t a = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 1968 \\ t-1967 & \text{für } t \geq 1968 \end{cases}$$

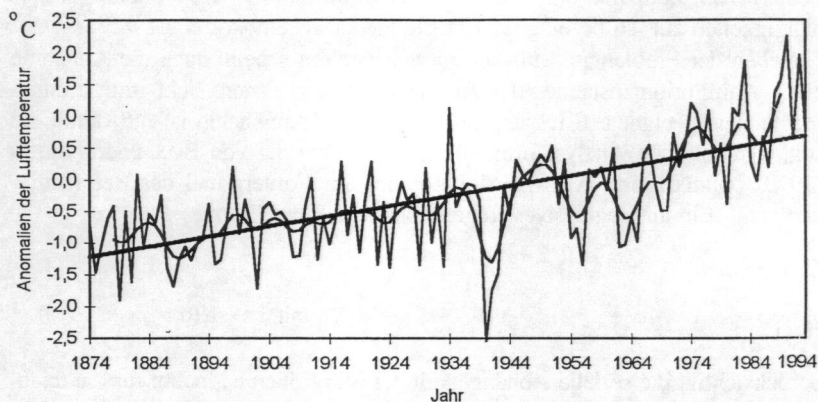


Abb. 7: Anomalien der Lufttemperatur mit den Ergebnissen der Schätzung aus Modell III.

Der lineare natürliche Trend einer Klimaerwärmung (t) wird um 1968 vom anthropogen verursachten Erwärmungstrend (ta = Trend anthropogen) abgelöst. Für das Fehlermodell wurde wieder ein autoregressives Modell zweiter Ordnung geschätzt.

$$R^2_{\text{tot}} = 0.4976 \quad \sigma^2_{\varepsilon} = 0.382353$$

Variable	Koeffizient	Std.Fehler	t-Ratio
Intercept	-1.03573	0.14610	-7.089
t	0.00967	0.00253	3.829
ta	0.04900	0.01319	3.716
ϕ_2	-0.14918	0.09257	-1.612

Während für den natürlichen Klimatrend eine Erwärmung von ca. 0.1 C/Dekade festgestellt werden kann, liegt die durch den Menschen verursachte Erwärmung um das 5-fache darüber - bei rund 0.5 C/Dekade. Der Zeitpunkt dieses Trendbruches wurde durch visuelle Inspektion der Reihe festgelegt. Für andere Trendbruchzeitpunkte können sich deshalb leicht veränderte Trendraten ergeben; die Trendrate der anthropogen verursachten Erwärmung liegt jedoch stets um ein Vielfaches über der Rate des natürlichen Trends. Die Analyse der Residuen dieses Modells mittels ACF und PACF zeigten keine seriellen Korrelationen mehr in den Störgrößen.

Neben der Berechnung der Trendsignale ist es wichtig zu betrachten, von welcher Hintergrundvariabilität diese Trendsignale in Erscheinung treten. Die Hintergrundvariabilität von Zeitreihen wird durch die Standardabweichung der Daten (s) beschrieben und auch als »Rauschen« bezeichnet.

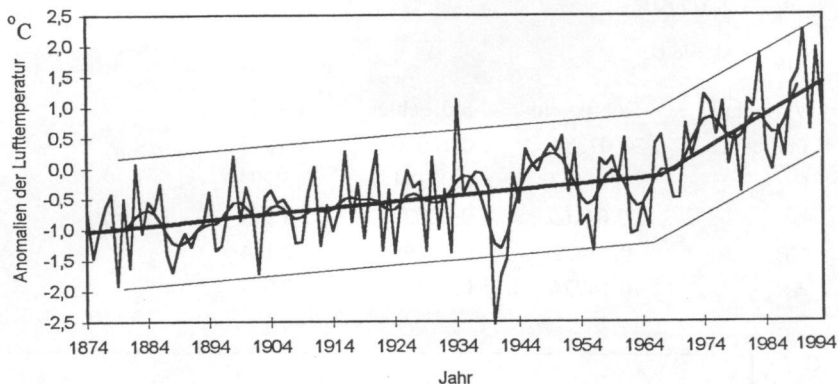


Abb. 8: Anomalien der Lufttemperatur mit den Ergebnissen der Schätzung aus Modell IV.

Als ein Maß für die Trendstrenge der abgeschätzten Temperatursignale läßt sich nun das Trend-Rausch-Verhältnis berechnen, indem die Trendrate (b) der gesamten beobachteten Periode durch die Standardabweichung (s) dividiert wird. Für Modell III ergibt sich ein t/s -Verhältnis von 2.22. Die entsprechenden Verhältnisse für Modell IV sind $t/s = 1.37$ und $ta/s = 2.07$. Eine Faustregel gesteht Trend-Rausch-Verhältnissen > 2 eine statistische Signifikanz von 95% zu (SCHÖNWIESE et al. [1990], S. 141; SCHÖNWIESE [1994], S. 218). Während sich der natürliche Klimatrend sehr schlecht von der Hintergrundvariabilität des betrachteten Zeitraumes 1874 - 1968 abhebt, tritt das Trendsignal für den Zeitraum 1968 - 1993 viel deutlicher hervor.

Ein alternativer Ansatz zu Modell IV. ist die Annahme eines Trendbruches, bei gleichzeitiger Niveauverschiebung. Aus Abb. 6 läßt sich ein Trendkanal beginnend im Jahr 1954 erkennen. Das Anfangsniveau dieses stärker ansteigenden Trends liegt jedoch unter dem Niveau des natürlichen Trends zu Beginn der 50er Jahre:

$$y_t = a + b_1 t + b_2 ta + NB + e_t \quad \text{wobei } e_t = -\phi_2 \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t, \quad V.$$

$$\text{mit } ta = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 1954 \\ t-1953 & \text{für } t \geq 1954 \end{cases} \quad \text{und } NB = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 1954 \\ 1 & \text{für } t \geq 1954 \end{cases}$$

Die Ergebnisse der Schätzung:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = 0.377701$$

$$R_{\text{tot}}^2 = 0.5080$$

Variable	Koeffizient	Std.Fehler	t-Ratio
Intercept	-1.07389	0.16090	-6.674
t	0.01113	0.00344	3.234
ta	0.04165	0.01027	4.057
NB	-0.57422	0.27298	-2.104
ϕ_2	-0.14724	0.09304	-1.583

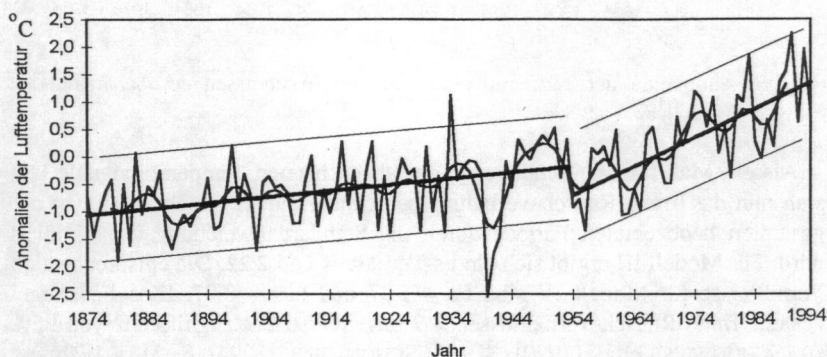


Abb. 9: Anomalien der Lufttemperatur mit den Ergebnissen der Schätzung aus Modell V.

Aus substanzwissenschaftlicher Sicht kann dies möglicherweise wie folgt interpretiert werden: Dem natürlichen Trend (t) wirkte zu Beginn der 50er Jahre eine kleine Abkühlung entgegen. Wie lange diese Abkühlung angedauert hätte, läßt sich heute nicht mehr beantworten. Der weitere Anstieg aus dieser sehr kurzen Periode einer Abkühlung (Niveaubruch NB = -0.574°C) erfolgte jedoch nicht mehr mit der gleichen Geschwindigkeit, wie er beim natürlichen Trend (t) beobachtet werden konnte, sondern mit einer um das 4-fache höheren Trendrate (ta = 0.04165).

Mit der von Box u. JENKINS vorgeschlagenen ARIMA-Modellierung läßt sich ein weiteres Konzept der Modellbildung verwirklichen. Im ARIMA-Ansatz werden Zeitreihen als systematische Realisierungen stochastischer Prozesse verstanden, wobei das Interesse auf das Studium der Abhängigkeiten dieser Prozesse gerichtet ist. Ein ARIMA-Prozeß der Ordnung (p,d,q) wird dargestellt durch:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1-B)^d y_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \varepsilon_t \quad \text{VI.}$$

Der rechte Teil der Gleichung zeigt, wie ein zum Zeitpunkt t ausgelöster Zufallsschock ε_t , der unabhängig von den Zufallsschocks zu anderen Zeitpunkten ist, vom Prozeß verarbeitet wird. Der beobachtete Wert y_t entsteht dann als gewichtetes Mittel aus gegenwärtigen und vorangegangenen Zufallsschocks. Der linke Gleichungsteil entspricht formal einem multiplen Regressionsmodell; die erklärenden Variablen sind jedoch nicht wie dort unabhängige Variable, sondern die Vergangenheitswerte von y_t selbst. Der Term $(1 - B)^d$ weist auf etwaige Differenzenbildung der Zeitreihe hin, d.h. bei $d = 1$ werden nicht die Werte der Originalzeitreihe betrachtet, sondern ihre ersten Differenzen $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$. Wie die vorangegangenen Analysen gezeigt haben, ist eine konstante Trendkomponente keinesfalls gegeben.

Abbildung 10 zeigt die Abweichungen der Jahreswerte vom Referenzwert 1951-1980 und den mittels Gauß'scher Tiefpaßfilterung sichtbar gemachten langperiodischen Variationsanteil; Variationen der Periodenlänge < 30 Jahre wurden unterdrückt. Die horizontalen Linien sind die Mittelwerte der Subintervalle 1874 - 1959 und 1960 - 1993. Der untere Teil der Abbildung 10 zeigt die zehnjährig übergreifenden Werte der Varianz, zur Kennzeichnung des zweiten zentralen Moments. Obwohl die Reihe gewisse zeitliche Veränderungen aufweist, lassen sich mit den üblichen Testverfahren (F-Test) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Subperioden feststellen.

Nach einmaliger Differenzenbildung zur Beseitigung des linearen Trends wurden mit Hilfe der ACF und PACF die Ordnung des ARIMA(p, d, q)-Modells mit $p=2$ und $q=3$ identifiziert. Die Schätzung der AR- und MA-Parameter des Modells (2,1,3) brachte folgendes Ergebnis:

$$\sigma_{\varepsilon}^2 = 0.4311$$

Parameter	Schätzung	Std.Fehler	t-Ratio	Lag
θ_3	0.58482	0.10589	5.52	3
ϕ_1	-0.73281	0.09019	-8.13	1
ϕ_2	-0.44842	0.11306	-3.97	2

Der identifizierte ARIMA-Prozeß lautet somit:

$$(1 + 0.73281 B + 0.44842 B^2) (1-B)^1 y_t = (1 - 0.58482 B^3) \varepsilon_t. \quad \text{VII.}$$

Die ersten beiden Koeffizienten des MA-Polynoms waren nicht signifikant von null verschieden - sie wurden im Modell deshalb nicht weiter berücksichtigt. Die Analyse der Residuen zeigte keine seriellen Abhängigkeiten mehr, die Residuen stellten somit nur noch »Weißes Rauschen« dar. Nachdem jeder ARIMA(p, d, q)-Prozeß als ein MA(∞)-Prozeß dargestellt werden kann, sollen für

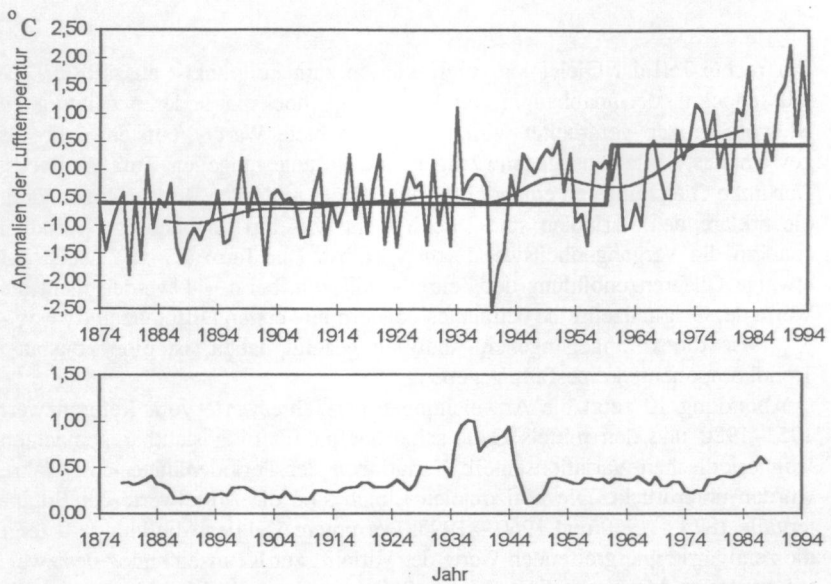


Abb. 10: a) Anomalien der Lufttemperatur; b) zehnjährig übergreifende Werte der Varianz.

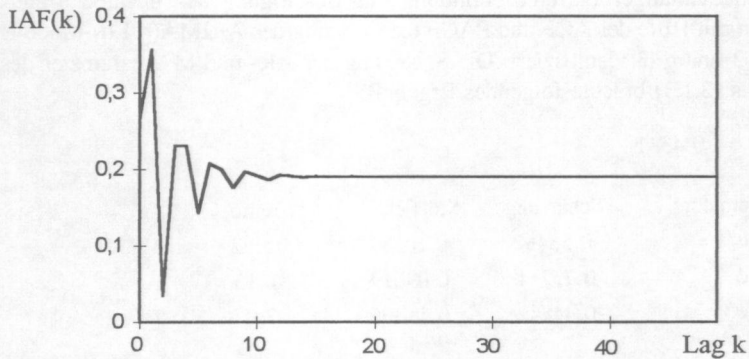


Abb. 11: PSI-Gewichte des geschätzten Prozesses nach Modell VII.

diesen Prozeß die $MA(\infty)$ -Gewichte (PSI-Gewichte) berechnet werden:

$$y_t = \varepsilon_t \sum_{j=1}^{\infty} \psi_j B^j . \quad \text{VIII.}$$

Die PSI-Gewichte in Abb. 11 zeigen einen oszillatorischen Verlauf, der allerdings sehr rasch ausklingt ($k < 15$). Zufallsschocks werden durch diesen Prozeß in Form von quasi-periodischen Schwingungen, deren Periodendauer bei etwa drei Jahren hegt, verarbeitet.

Im ARIMA-Ansatz wird davon ausgegangen, daß nicht-stationäre Prozesse aus Integration (eigentlich Summation) stationärer Prozesse entstehen. D.h., diese ganz bestimmte Klasse nicht-stationärer Prozesse wird durch die Umkehrung der Integration (Differenzenbildung) in stationäre Prozesse zurückgeführt. Enthält nun eine Zeitreihe eine deterministische Trendkomponente, so wird durch die Differenzenbildung der Reihe auch diese deterministische Trendkomponente entfernt und der Prozeß in einen stationären Prozeß übergeführt. Mit anderen Worten, die Differenzenbildung eliminiert den Trend auch dann, wenn er nicht auf die Integration stationärer Prozesse zurückzuführen ist. »Ob Nicht-Stationarität ökonomischer Reihen aus einer solchen Integration stationärer Prozesse hervorgeht, wird gegenwertig kontrovers diskutiert« (METZ [1994], S. 29). Sog. »Unit-Root-Tests« sollen eine objektive Entscheidung herbeiführen, wobei gerade die Beurteilung der Güte dieser Tests im Mittelpunkt der Diskussionen steht. Eine Ausdehnung dieses Ansatzes auf naturwissenschaftliche Reihen erscheint plausibel, so daß die Trendelimination durch Differenzenbildung nicht mehr gerechtfertigt scheint. Zusätzlich können die Koeffizienten eines ARIMA-Modells nicht kausal interpretiert werden, da weder Zufallsschocks noch Werte vorangegangener Perioden den Zeitreihenwert der Periode t kausal beeinflussen können (vgl. KIRCHGÄSSNER [1981], S. 19ff).

Ein alternativer Ansatz zum reinen ARIMA-Modell ist die Schätzung eines deterministischen Trends durch Interventionen. Die Idee, die dieser Betrachtung zugrunde liegt, ist die Überlagerung eines Prozesses y_t durch ein Signal x_t .

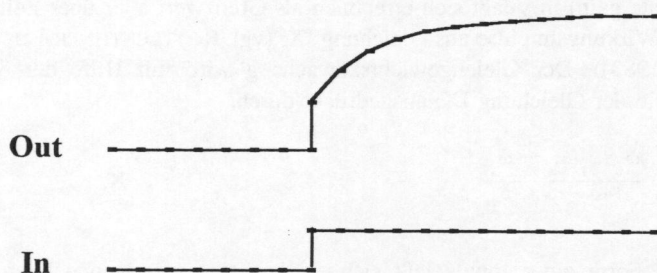


Abb. 12: Schematische Darstellung eines Interventionsmodells mit einem Step-Input.

Bei diesem Ansatz werden »Ereignisse« (Katastrophen, polit. Maßnahmen, klimawirksame menschliche Aktivitäten, ...) durch eine nicht-stochastische Inputvariable x_t dargestellt. Dieser Input ist eine binär kodierte Variable, so daß eine ähnliche Situation vorliegt, wie sie aus der Regressionsrechnung mit Dum-

my-Variablen bekannt ist. Die Interventionsanalyse untersucht nun, wie diese Inputvariable (als Ausdruck bestimmter Ereignisse) einen Einfluß auf die abhängige Variable y ausgeübt hat. Dieser Typ eines Interventionsmodells mit nicht-stochastischem Input x_t kann nicht empirisch identifiziert werden. Vielmehr wird der Input theoretisch (und substanzwissenschaftlich begründet) vorgegeben und an Hand der Daten auf seine Gültigkeit überprüft. Die allgemeine Form eines Transferfunktionsmodells lautet:

$$y_t = \delta_1 y_{t-1} + \dots + \delta_r y_{t-r} + \omega_0 x_{t-b} - \dots - \omega_s x_{t-b-s} + N_t \quad \text{IX.}$$

Der Parameter b steht für die Anzahl der Intervalle die benötigt werden, bis eine Wirkung im Output y_t sichtbar wird (»dead time«, Verzögerungsparameter). Der Parameter ω gibt an, um wieviele Einheiten sich die abhängige Variable y aufgrund einer Einheitsänderung in x zum Zeitpunkt $t-b$ verändert hat. Der Parameter δ der zeitverzögerten endogenen Variablen x zeigt auf, wie rasch die Wirkung in Richtung null abfällt (vgl. ROTTLEUTHNER-LUTTER U. THOME [1983]).

Bei den nicht-stochastischen Inputs x sind grundsätzlich drei verschiedene Formen von Interventionen zu unterscheiden. Der Puls-Input (... 0 0 0 1 0 0 ...) kennzeichnet eine momenthafte, auf ein Zeitintervall von x beschränkte, Änderung. Der Output y zeigt dann den Wirkungsverlauf auf diesen einzelnen Impuls, wobei die Wirkung in y längerfristig wieder auf das Nullniveau zurückgeht. Der Step-Input (... 0 0 0 1 1 1 ...) kennzeichnet eine permanente (über sämtliche sich anschließende Zeitintervalle erstreckende) Niveauverschiebung in x . Diese fortdauernde Intervention verschiebt die Output-Variable y auf ein neues Gleichgewichtsniveau. Der sich dabei ergebende Äquilibriumszuwachs g (steady State gain) in y läßt sich errechnen als Grenzwert aller über Zeit kumulierter Wirkungsimpulse aus Gleichung IX. (vgl. ROTTLEUTHNER-LUTTER U. THOME [1983]). Der Gleichgewichtszuwachs g wird mit Hilfe der δ - und ω -Gewichte der Gleichung IX. ausgedrückt durch:

$$g = \frac{\omega_0 - \omega_1 - \dots - \omega_s}{1 - \delta_1 - \dots - \delta_r} \quad \text{X.}$$

Die dritte Form eines Inputs läßt sich als konstant ansteigende Niveauverschiebung in x begreifen und wird als Rampe bezeichnet (0 0 0 1 2 3 ...). Neben diesen drei Inputformen sind natürlich Mischformen nicht-stochastischer Inputs durchaus denkbar. Eine Mischform eines Puls- und Step-Inputs würde eine Intervention kennzeichnen, die länger andauert, nach einer gewissen Zeit aber wieder verschwindet (... 0 0 1 1 1 1 0 0 ...).

Die Temperaturreihe zeigt mit Beginn 1960 einen deutlichen Aufwärtstrend. Den Anstieg als Trend zu modellieren erscheint insofern als unbefriedigend, da

er mehr oder weniger begrenzt sein muß. Zudem sollte man sich in Erinnerung rufen, daß »mit jedem Tag, den wir in die Zukunft vordringen, der Nutzen des aktuellen Trends schwindet« (KRÄMER [1994], S. 62). Auch SCHÖNWIESE [1994] weist darauf hin, daß der vergangene Trend umso unzuverlässiger wird, je länger der Prognosehorizont ist (ebd. S. 157). Im Gegensatz zu den vorangegangenen Modellen, wo die Berechnung von Trendraten endlos steigende Temperaturen suggeriert, soll im folgenden der Temperaturanstieg begrenzt sein, d.h., es wird die Frage beantwortet: Welchen Temperatureffekt hat der Mensch durch seine Aktivitäten bis jetzt ausgelöst?

In Anlehnung an Abb. 10 wurde für das Interventionsmodell der Temperaturreihe ein Step-Input angenommen. Die Niveaushiftung um eine Einheit in der Input-Reihe x zu Beginn der 60er Jahre kann als anthropogen verursachtes externes Ereignis verstanden werden. Ein derart hypothetisch bestimmtes Modell muß nun an Hand verschiedener statistischer Kriterien überprüft werden.

Ein erstes Modell mit einem Verzögerungsparameter von $b = 0$ brachte keine befriedigenden Schätzergebnisse, so daß wir im weiteren für diesen Step-Einfluß eine dead-time von $b = 3$ Jahre angenommen haben. Substanzwissenschaftlich ist dieser Zeitraum von drei Jahren kaum zu interpretieren, wurde doch der Beginn des menschlichen Einflusses in Anlehnung an Modell VII und Abb. 10 - zwar substanzwissenschaftlich begründbar, mit 1960 - aber dennoch, frei festgelegt. Dahingehende Aussagen, daß diese drei Jahre ungefähr jenem Zeitraum entsprechen, den Treibhausgase (und andere menschlich verursachte Verschmutzungen) brauchen, um klimawirksam zu werden, würden sich zwar in den Kontext der Aussagen von Klimaforschern einfügen (SCHÖNWIESE nennt Zeiträume zwischen einigen Monaten und 10 Jahren), erscheinen dem Autor aber als zu vage. Des weiteren waren für dieses Interventionsmodell ein δ -Gewicht und ein ω -Gewicht zu schätzen, so daß folgender Modelltyp vorlag:

$$y_t = \delta_1 y_{t-1} + \omega_0 x_{t-3} + N_t \quad \text{XI.}$$

Um die ARIMA-Ordnung des Fehlerterms N , zu bestimmen, wurden die Temperaturen vor Eintritt der Intervention herangezogen. Es wird davon ausgegangen, daß sich der Fehlerterm mit Eintritt der Intervention 1960 nicht geändert hat. Die Identifikationsverfahren ACF und PACF, als auch die Schätzung des ARIMA-Modells für diese Periode wiesen auf ein AR(2)-Modell mit nur einem signifikanten AR-Parameter (zum Lag 2) hin. Somit lautet das voll-spezifizierte Interventionsmodell (nach einigen Umformungen) für die Temperaturreihe Wien Hohe Warte:

$$y_t = \frac{\omega}{1 - \delta_1 B} x_{t-3} + \frac{1}{1 - \delta_2 B^2} \varepsilon_t \quad \text{mit } x_t = \begin{cases} 1 & \text{für } t < 1960 \\ 0 & \text{für } t \geq 1960 \end{cases}$$

Die Schätzung ergab folgende Werte:

Parameter	Schätzung	Std.Fehler	t-Ratio	Lag	Shift
Intercept	-0.59309	0.08940	-6.63	0	0
ϕ_2	0.23415	0.09252	2.53	2	0
ω_0	0.10635	0.04843	2.20	0	3
δ_1	0.95630	0.04622	20.69	1	3

Die geschätzten Modellparameter sind für sich alleine nicht aussagekräftig, da sie nur aus einer mathematischen Schätzgleichung heraus entstanden sind. Mit ihrer Hilfe läßt sich jedoch der Äquilibriumszuwachs (nach X.) berechnen:

$$g = \frac{0.10635}{1 - 0.9563} = 2.434.$$

Als Folge einer anthropogen ausgelösten Intervention zu Beginn der 60er Jahre verschiebt sich das langfristig zu erwartende Niveau der Jahresdurchschnittstemperaturen von Wien um +2.434° Celsius nach oben. Die Effekte klimawirksamer menschlicher Aktivitäten wurden als eine einmalige Einheitenverschiebung in der Inputvariable x im Jahre 1960 modelliert. Dieser Step-Input spiegelt im Modell also nur die bereits existierenden Effekte. Die Überlegungen hierbei waren, menschlich verursachte Klimaeffekte nicht vorwegzunehmen, sondern nur mit jener Information zu arbeiten, die sich bereits in der Zeitreihe manifestiert hat. Während Klimatologen die nach wie vor ansteigende (und auch zukünftige) Umweltverschmutzung in ihren Modellen berücksichtigen, und sich damit oft dem Vorwurf der Schwarzmalerei ausgesetzt sehen, kennzeichnet dieser um +2.4° C höhere Äquilibriumszustand der Jahresmitteltemperatur nur bereits vorhandene Effekte. Es ist allerdings zu befürchten, daß wir mit unserem Modell das wahre Ausmaß eines anthropogenen Klimaeffektes aus den genannten Gründen eher unterschätzen.

Für den Parameter δ der zeitverzögerten exogenen Variablen x eines Transferfunktionsmodells erster Ordnung gelten folgende Stabilitätsbedingungen: $-1 \leq \delta_1 \leq 1$. Wie das Ergebnis obiger Schätzung zeigt, liegt der Parameter δ_1 bereits sehr nahe an dieser Stabilitätsgrenze. Zieht man den Standardfehler des Parameters in diese Betrachtungen mit ein, so hegt das 95%-Zuverlässigkeitsintervall sogar außerhalb dieser Region. Ein δ_1 -Parameter von 1 in Modell XI. würde der Inputform einer Rampe entsprechen. Das Modell XI. könnte also auch als ein Interventionsmodell mit einer Rampe bzw. einer Mischform als nicht-stochastischem Input x, reparametrisiert werden.

Im weiteren soll untersucht werden, inwieweit die Rekordmeldungen von einzelnen Jahren zur Abstützung der Erwärmungstheorie verwendet werden können. Abgesehen von der prinzipiellen Fragwürdigkeit, von Einzelwerten auf langfristige Temperaturtrends zu schließen, muß bei der Interpretation der Ergebnisse auch die stärkere Variabilität dieser Reihen berücksichtigt werden, oder anders ausgedrückt: »Ein strenger Winter oder ein heißer Sommer sagt [somit] nur sehr wenig aus über die längerfristig herrschenden Klimaverhältnisse« (BÖHM [1993], S. 22).

Ungeachtet dessen sollte man sich aber vor Augen führen, daß langfristige Klimaänderungen zwar Veränderungen in der Vegetation herbeiführen können und den Meeresspiegel ansteigen lassen, es aber die Extremtemperaturen und täglichen Temperaturschwankungen sind, die von Mensch und Tier unmittelbar erlebt werden und somit ihr Befinden beeinflussen. Extremtemperaturen bestimmen etwa die Zahl der Heiztage (relevant für die Dimensionierung von Heizungsanlagen) bis hin zu beinahe banal anmutenden Dingen wie der Frostsicherheit von Dieselmotoren - und auch Landwirte sind mehr an bestimmten Einzeltemperaturen als an »mittleren« Temperaturverhältnissen interessiert. Ein weiteres Argument für die Betrachtung von Einzelwerten liefert BÖHM [1993]: »Typisch für die Lebhaftigkeit der Atmosphäre ist die Tatsache, daß der Mittelwert in der Klimatologie ein in der Praxis nur sehr selten auftretender Zustand ist« (ebd. S. 15).

Die in der Klimatologie betrachteten Extremtemperaturen und davon abgeleitete Größen sind vor allem Frosttage (Tagesminimum ist negativ), Eistage (Tagesmaximum ist negativ), Wintertage (Tagesmittel ist negativ), Sommertage (Tagesmaximum größer gleich 25° C) und Tropentage (Tagesmaximum größer gleich 30° C). Für die statistischen Analysen wurde der Zeitraum von 120 Jahren in drei annähernd gleich große Subintervalle unterteilt: I. 1874 - 1920; II. 1921-1959; III. 1960-1993. Tabelle 1 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Subperioden, als auch der gesamten Periode von 120 Jahren wieder. In den Abbildungen 13 a) bis e) sind die entsprechenden Werte grafisch dargestellt.

Für die Anzahl der Extremtage des Winterhalbjahres (Frost-, Eis- und Wintertage) läßt sich ein leichter Rückgang (sowohl grafisch, als auch im Mittel der Subperioden) feststellen. Dieser rückläufige Trend erstreckt sich über alle drei Perioden gleichmäßig. Für die Extremtage des Sommerhalbjahres ergibt sich ein nahezu konträres Bild: Sowohl die Anzahl der Sommer- als auch Tropentage bleibt über die ersten beiden Subperioden unverändert, während in der dritten Periode eine drastische Zunahme für diese beiden Extremwerte festgestellt werden kann. Abbildung 13 e) zeigt auch, daß für die Anzahl der Tropentage des vorigen Jahrhunderts ein leicht höheres Niveau bestanden hat, als für die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts. In der Nachkriegszeit gab es eine ähnliche Anzahl an Tropentagen wie vor der Jahrhundertwende. Erst Mitte der 70er Jahre stieg die Anzahl der Tropentage drastisch an.

Periode	Frosttage	Eistage	Wintertage	Sommertage	Tropentage
I	86.0 (17.4)	31.7 (13.0)	52.7 (17.4)	1.7 (1.9)	4.3 (3.8)
II	78.7 (16.6)	29.8 (14.4)	45.8 (16.0)	2.6 (2.4)	4.9 (3.8)
III	72.3 (17.2)	23.9 (12.3)	41.6 (15.3)	8.9 (7.0)	10.4 (6.9)
Total	79.7 (18.0)	28.9 (13.7)	47.3 (17.0)	4.0 (5.2)	6.3 (5.6)

Tab.1: Statistische Kennzahlen für die Anzahl von Frost-, Eis-, Winter-, Sommer- und Tropentagen

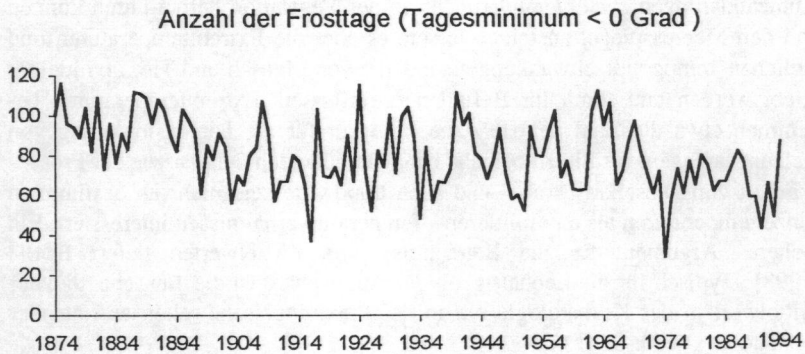


Abb. 13: Anzahl der a) Frosttage.

Die Analyse von Temperaturschwankungen

Neben einer langfristigen Temperaturerhöhung und einer Zunahme von Extremwerten ist eine mögliche Zunahme der Variabilität der Temperatur ein weiteres Argument für die Erwärmungstheorie. In Abb. 6 b) wurde bereits die zehnjährig übergreifende Varianz der Temperaturjahresmittel dargestellt. Der Verlauf der Reihe zeigt, daß eine zunehmende Variabilität der Temperatur nicht vorhanden ist. Man darf hierbei jedoch nicht übersehen, daß die Varianz der Jahresdurchschnittstemperaturen nur die langfristige Variabilität des Klimas darstellt. Eine unterjährige Betrachtung der Variabilität der Temperaturen soll nun an dieser Stelle vorgenommen werden. Die Variabilität läßt sich messen durch:

- a) Eine **Veränderung der Temperaturschwankungen** innerhalb eines Monats, ausgedrückt durch die Varianz des jeweiligen Monats;
- b) eine **Veränderung der Temperaturschwankungen innerhalb eines Tages**, ausgedrückt durch die Differenz zwischen Tagesmaximum und Tagesminimum;
- c) die Temperaturschwankung von einem Tag zum nächsten.

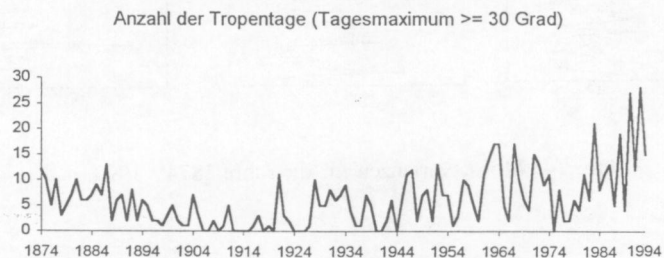
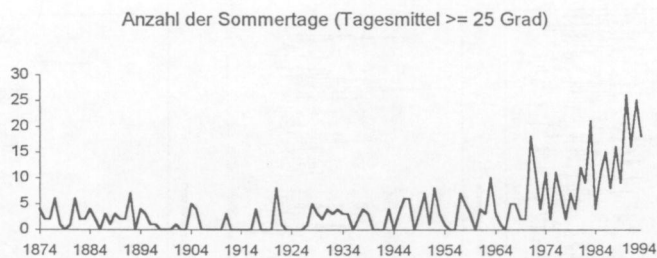
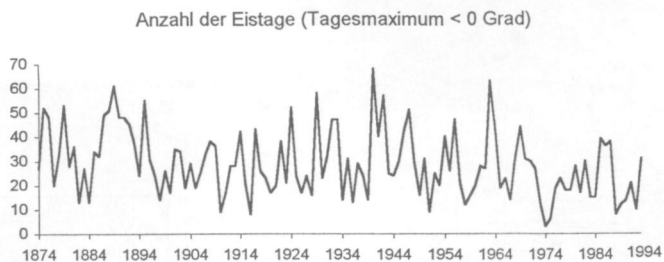


Abb. 13: b) Eistage, c) Wintertage, d) Sommertage, e) Tropentage.

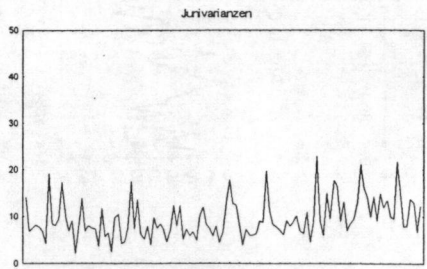
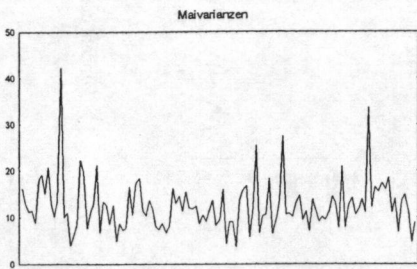
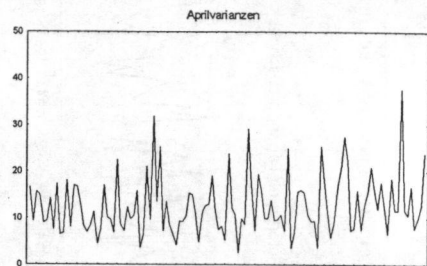
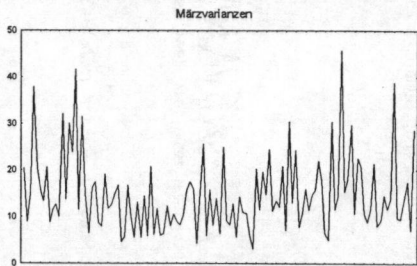
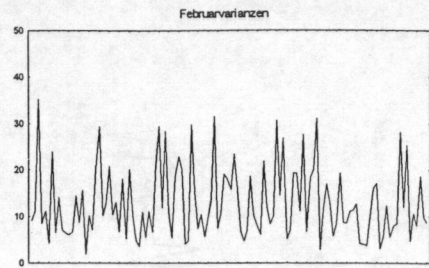
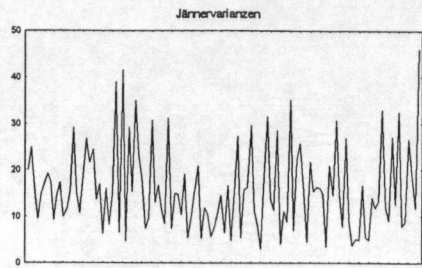


Abb. 14: Monatsvarianzen für die Jahre 1874 - 1993.

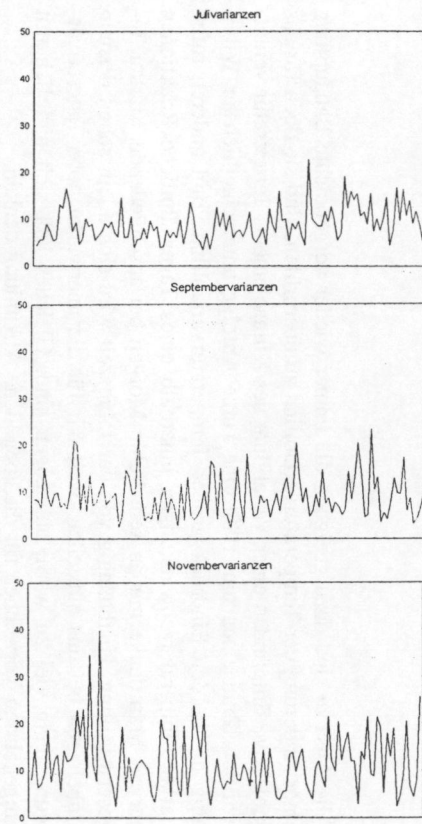
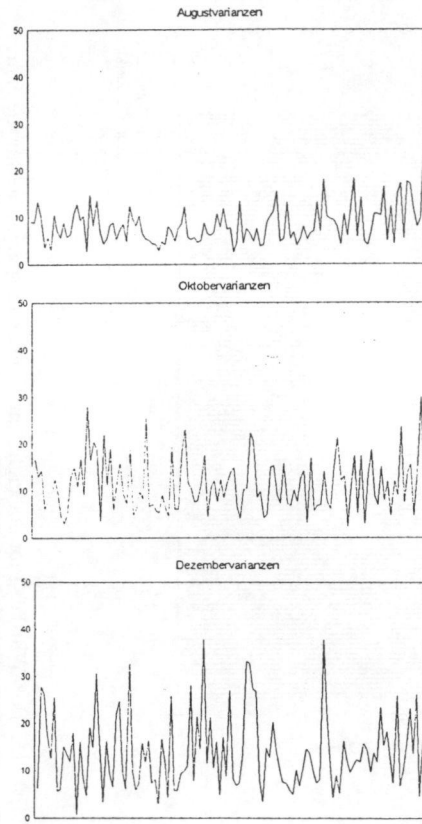


Abb. 14: Monatsvarianzen für die Jahre 1874 - 1993.

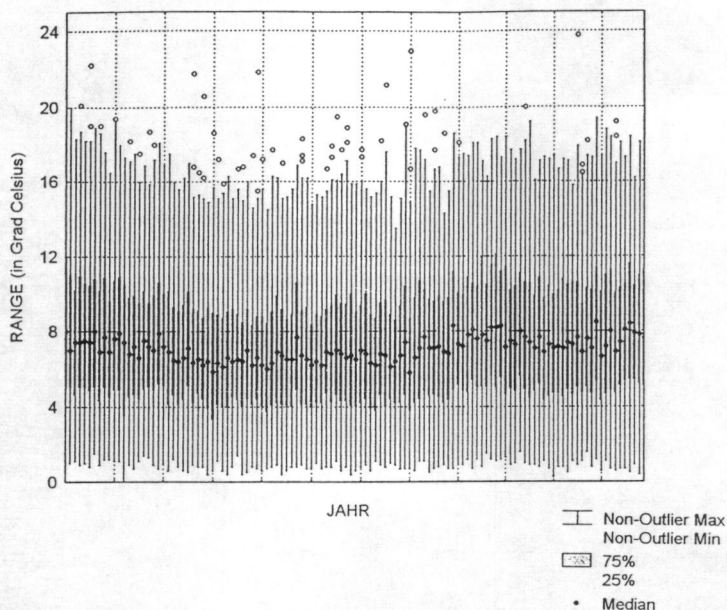


Abb. 15: Box-Whisker-Plot der täglichen Temperaturspannweite für die Jahre 1874 - 1993.

Alle Ansätze sind dazu geeignet, die immer wieder vorgebrachte Behauptung einer Änderung der Temperaturvariabilität zu überprüfen, sind sie doch für das subjektive Empfinden einer Variabilität des Klimaelements Temperatur verantwortlich. Zum einen hinterläßt eine kurze Abfolge unterschiedlichster Witterung in uns den Eindruck großer Temperaturvariabilität, zum anderen rufen starke Temperaturschwankungen innerhalb eines Tages ähnliche Reaktionen hervor. Man denke nur an sehr kühle Morgen bei anschließender starker Tageserwärmung. Unabhängig von der Jahreszeit wird sich allein schon deshalb Unbehagen bei uns einstellen, weil wir für die unerwartet hohe Tageserwärmung dann viel zu warm angezogen sind. Gleiches läßt sich natürlich mit umgekehrten Vorzeichen für die abendliche Abkühlung denken.

In Abbildung 14 sind die Verläufe der Monatsvarianzen für den Zeitraum 1874 bis 1993 dargestellt. Für die Berechnung der Monatsvarianzen wurden die quadrierten Abweichungen der Tagesmittelwerte zum Monatsmittelwert verwendet. Eine Zunahme der Varianz in den einzelnen Monaten kann im betrachteten Zeitraum von 120 Jahren nicht festgestellt werden. Deutlich hingegen ist die größere Temperaturvariabilität der Wintermonate gegenüber den Sommermonaten zu erkennen.

Auch die jährliche Verteilung der täglichen Spannweite (Abb. 15) - dargestellt durch einen BOX-WHISKER-PLOT - liefert keine Hinweise für eine Zunahme der Temperaturvariabilität. Die mittleren 50% der Tages Schwankungen befinden sich zwischen 4.5°C und 11.5°C , wobei für die Periode ab 1960 ein um ca. 0.5°C höheres Niveau als für die erste Hälfte unseres Jahrhunderts festgestellt werden kann. Ein ähnlich hohes Niveau kann allerdings auch für die Periode vor 1900 beobachtet werden, so daß keine Hinweise für eine Zunahme der Temperaturvariabilität vorliegen. Ergänzend sei noch erwähnt, daß auch die Analyse der Temperaturunterschiede von einem Tag zum nächsten keine Hinweise auf eine Zunahme der Variabilität erbrachte.

Zusammenfassung

Die substanzwissenschaftliche Beurteilung der Ergebnisse ist der Situation eines Indizienprozesses ähnlich, »bei dem der Angeklagte - hier der Mensch - die Tat - hier die Erhöhung der klimawirksamen Spurengase in der Atmosphäre - nicht gestanden hat und der Staatsanwalt nun nach Indizien sucht, die den Angeklagten dennoch der Tat überführen sollen« (SCHÖNWIESE U. DIEKMANN [1987], S. 153). Mit einem globalen Temperaturanstieg von ca. 0.6°C in den letzten hundert Jahren, mit einem um 10 cm höheren Meeresspiegel oder mit dem Zurückweichen des Dauerfrostbodens in der Antarktis gibt es eine Reihe von Indizien, die diese »Anklage« gegen uns Menschen unterstützen. Der Verteidiger wird entgegnen, daß es erstens eine Reihe von Gegenindizien gibt, wie etwa die Abnahme der Meeresoberflächentemperatur seit 1940. Zweitens wird der Erwärmungstrend von starken Jahr-zu-Jahr-Variationen überlagert. Und drittens, selbst wenn ein steigender Temperaturtrend festgestellt wird, ist das noch lange kein Beweis für den Treibhauseffekt - man denke dabei etwa an den Zusammenhang zwischen Störchen und Kindergeburten (SCHÖNWIESE u. DIEKMANN [1987], S. 154f). Die Beobachtungsindizien weisen also nicht alle in die gleiche Richtung.

Wie jedoch die Berechnung der Trendraten gezeigt hat, ist ein stärkerer Anstieg der Temperatur, beginnend mit ca. 1960, zu beobachten. Diese stärkeren Trendraten liegen stets um ein Vielfaches über der natürlichen Trendrate. Ohne hier eine echte Kausalverknüpfung zwischen Umweltverschmutzung und Temperaturanstieg vorgenommen zu haben (was selbst den Klimatologen mit ihren umfassenden Modellen auf Grund der langen und somit teuren Computerrechnenzeiten nur alle paar Monate möglich ist), fügen sich dennoch unsere Ergebnisse in das erwartete Bild. Als wichtigster Hinweis ist die abrupte Temperaturänderung anzuführen, die, wie die Klimageschichte gezeigt hat, in der Natur noch nie vorkam. Temperaturänderungen in einem derartigen Ausmaß treten auf natürliche Weise in einem Zeitraum von Jahrhunderten auf, während wir diese Änderung allein in den letzten dreißig Jahren beobachten konnten.

Ob die Temperatur nun tatsächlich diesen neuen, größeren Trendraten folgt, oder ob das natürliche Klimasystem in der Lage ist, das auszugleichen, und wir deshalb vielleicht nur die Aufwärtsbewegung einer Schwingung beobachten, läßt sich nicht beantworten. Zudem würde dieses Regulativ einen sehr langsamen Prozeß darstellen, weshalb wir keinen unmittelbaren Nutzen daraus erwarten können. Auch sollten wir uns nicht der Hoffnung hingeben, daß der natürliche Kaltzeittrend (vgl. Abb.1) die anthropogenen Erwärmungseffekte ausgleichen kann - dafür ist dieser Abwärtstrend viel zu langsam.

Beim Modellansatz der Interventionsanalyse wurde davon ausgegangen, daß der Anstieg begrenzt sein könnte. Wobei man sehr wohl kritisch anmerken kann, daß das Modell des begrenzten Anstieges viel zu früh geschätzt wurde, da das Ende des Temperaturanstieges zum jetzigen Zeitpunkt sicher noch nicht erreicht ist. Trotzdem hat dieser Modellansatz seine Berechtigung, bezeichnen die Schätzergebnisse doch das Minimum dessen, was wir Menschen bisher bereits verursacht haben.

Die Wahrheit über den anthropogen verursachten Temperaturanstieg wird die Zukunft beantworten. Wahrscheinlich liegt sie irgendwo zwischen den in alle Ferne weisenden linearen Trendraten und der Idee eines begrenzten Anstieges mit einem neuem Gleichgewicht. Die nächsten Jahrzehnte wird die Temperatur sicherlich den neuen Trendraten folgen, weisen doch auch die Ergebnisse der Analyse von den Extremwerten ebenfalls in diese Richtung. Ein Temperaturanstieg bis zum »Kochen« der Erde ist allerdings kaum denkbar, so daß ein späteres Einschießen auf hohem Niveau realistisch erscheint.

Die in der Bevölkerung und den Medien immer wieder hervorgebrachte Behauptung, das Wetter weise zunehmend Kapriolen auf, konnte bezüglich des Klimatelements Temperatur nicht bestätigt werden. Es finden sich keine Hinweise in den Daten, daß der beobachtete Temperaturanstieg mit einer Zunahme der Variabilität verbunden ist.

Literaturverzeichnis

- Auer, Ingeborg (1993): Zur Geschichte der Niederschläge. Historicum, Frühling 1993, S. 25-32.
- Böhm, Reinhard (1992): Description of the Procedure of Homogenizing Temperature Time Series in Austria. Centr.Europ.Res.Init, project group meteorology Working Paper 2, Wien.
- Böhm, Reinhard (1993): Geschichte der Temperatur. Historicum, Frühling 1993, S. 15-24.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1971): Time Series Analysis. Holden-Day, San Francisco.
- Firor, J. (1993): Herausforderung Weltklima. Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg.

- Glaser, Rüdiger (1993): Klimageschichte - Spiegel des Klimas? Historicum, Frühling 1993, S. 7-14.
- Kirchgässner, Gebhard (1981): Einige neuere statistische Verfahren zur Erfassung kausaler Beziehungen zwischen Zeitreihen. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Krämer, Walter (1994): So lügt man mit Statistik. Campus, Frankfurt.
- Legett, J. (Hrsg.) (1991): Global Warnung. Piper, München.
- Lehmann, Hartmut (1986): Frömmigkeitsgeschichtliche Auswirkungen der »Kleinen Eiszeit«. In: Volksreligiosität in der modernen Sozialgeschichte. Schieder W. (Hrsg.), Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Metz, Rainer (1994): Statistische und ökonometrische Verfahren der univariaten Zeitreihenanalyse. Unpublished Paper, Zentrum für Hist. Sozialforschung, Herbstseminar, Köln.
- Pearce, F. (1990): Treibhaus Erde. Westermann, Braunschweig.
- Pfister, Christian (1988): Klimageschichte der Schweiz 1525-1860 (3. Auflage). Paul Haupt, Bern.
- Rehbein, Elfriede (1984): Zu Wasser und zu Lande. Verlag C.H. Beck, München.
- Rottleuthner-Lutter, M. u. Thome, H. (1983): Wirkung von Ereignissen auf kollektive Einstellungen. Zeitschrift für Sozialpsychologie, 14, S. 118-138.
- Schönwiese, C.D. und Diekmann, B. (1987): Der Treibhauseffekt. Deutsche Verlags-Anstalt, München.
- Schönwiese, C.D. et al. (1990): Statistische Analyse des Zusammenhangs säkularer Klimaschwankungen mit externen Einflußgrößen und Zirkulationsparametern unter besonderer Berücksichtigung des Treibhausproblems. Berichte des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main, Nr.84.
- Schönwiese, C.D. (1994): Klima im Wandel. Rowohlt, Hamburg.
- Seibert, Jakob (1993): Hannibal. Wissenschaftliche Buchgemeinschaft, Darmstadt.
- Seifritz, W.(1991): Der Treibhauseffekt. Hanser, München.